Loi de *Moseley* et détermination de la constante de *Rydberg*

Objectifs expérimentaux

- Mesure des arêtes d'absorption K dans les spectres de transmission du Zr, Mo, Ag et In.
- Vérification de la loi de *Moseley*.
- Détermination de la constante de *Rydberg*.

Notions de base

L'absorption de quanta de rayonnement X au passage à travers la matière est essentiellement basée sur l'ionisation d'atomes qui cèdent un électron d'une couche électronique intérieure, par ex. de la couche K. Cela suppose que l'énergie quantique

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \qquad \text{(I)}$$

h: constante de Planck,
c: vitesse de la lumière

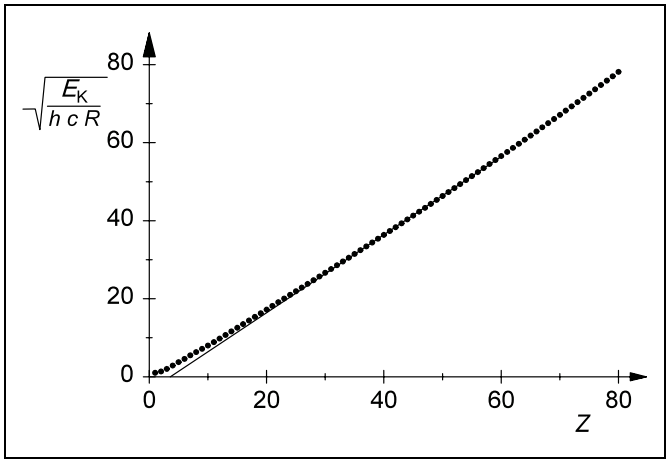
est plus grande que l'énergie de liaison E_K de la couche. La transmission

$$T = \frac{R}{R_0} \qquad \text{(II)}$$

R: intensité derrière l'atténuateur
R_0: intensité devant l'atténuateur

Fig. 1 Energie de liaison de la couche K dans la représentation $\sqrt{\frac{E_K}{h \cdot c \cdot R}}$ en fonction du numéro atomique Z

(voir aussi l'équation (V))
Cercles: valeurs littéraires de [1]
Ligne: modélisation de la droite pour Z = 30–60



du matériau augmente donc brusquement en fonction de la longueur d'onde pour

$$\lambda_K = \frac{h \cdot c}{E_K} \qquad \text{(III)}.$$

Ce changement brusque est caractérisé d'arête d'absorption, en l'occurrence, d'arête d'absorption K.

Le physicien anglais Henry *Moseley* déduit en 1913 de la mesure de l'arête d'absorption K pour différents éléments la loi qui porte son nom:

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_K}} = \sqrt{R} \cdot (Z - \sigma_K) \qquad \text{(IV)}$$

R: constante de Rydberg
Z: numéro atomique de l'élément absorbant
σ_K: coefficient de blindage de la couche K

Une comparaison avec l'équation (III) donne pour l'énergie de liaison de la couche K

$$E_K = h \cdot c \cdot R \cdot (Z - \sigma_K)^2 \qquad \text{(V)}.$$

Il est possible d'accorder cette équation avec les prédictions du modèle atomique de Bohr par la réflexion suivante: la charge nucléaire $Z \cdot e$ d'un atome est partiellement blindée pour l'électron qui est éliminé lors de l'absorption d'un quantum de rayonnement X de la couche K de l'atome par les électrons restants du cortège électronique. D'où le fait que pendant l'ionisation, seulement la charge $(Z - \sigma_K) \cdot e$ agit sur l'électron, au centre.

Pour vérifier la loi de Moseley, on mesure dans l'expérience les arêtes d'absorption K pour les numéros atomiques *Z* entre 40 et 50. Dans ce domaine, le coefficient de blindage σ_K est largement indépendant de *Z* (voir fig. 1). L'équation (IV) correspond donc à une équation générale de la droite de la forme

$$y = a \cdot x + b \qquad \text{(VI)}$$

avec le numéro atomique *Z* comme variable x. D'après les paramètres *a* et *b* de la droite, la constante de Rydberg *R* et le coefficient de blindage σ_K peuvent se calculer comme suit:

$$R = a^2,\ \sigma_K = -\frac{b}{a} \qquad \text{(VII)}.$$

Matériel

1 appareil à rayons X	554 811
1 tube compteur à fenêtre pour rayonnements α, β, γ et X	559 01
1 lot de films d'absorption	554 832

Supplément:

1 PC avec Windows 95/98 ou Windows NT

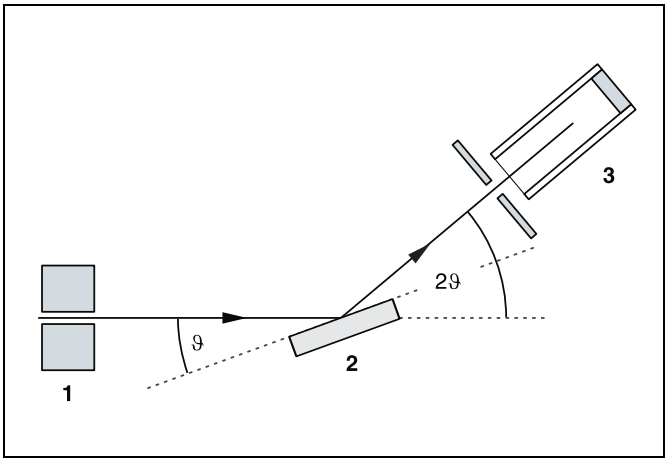


Fig. 2 Schéma de principe pour la diffraction de rayons X sur un monocristal et pour le couplage 2ϑ entre l'angle du tube compteur et l'angle de diffusion (angle de brillance)
1 collimateur, **2** monocristal, **3** tube compteur

Pour la mesure de la transmission T en fonction de la longueur d'onde, on utilise un goniomètre avec cristal de NaCl et un tube compteur de Geiger-Müller en disposition de Bragg. Le cristal et le tube compteur sont orientés dans un couplage 2ϑ par rapport au rayonnement X incident, c.-à-d. que le tube compteur est respectivement tourné d'un angle deux fois plus grand que celui du cristal (cf. fig. 2).

Conformément à la loi de la réflexion de Bragg, la longueur d'onde

$$\lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \vartheta \qquad \text{(VIII)}$$

d = 282,01 pm: écartement des plans du réseau du NaCl

correspond à l'angle de diffusion ϑ dans le premier ordre de diffraction.

Conseils de sécurité

L'appareil à rayons X respecte les consignes relatives à la construction d'un appareillage à rayons X pour l'enseignement et d'un appareil à protection totale et est homologué en tant que tel (d'après le règlement allemand sur les rayonnements X).

Grâce aux mesures de protection et de blindage incorporées par le constructeur, le taux de dose hors de l'appareil est réduit à moins de 1 μSv/h, une valeur d'un ordre de grandeur correspondant à la dose d'irradiation naturelle.

- Avant la mise en service, s'assurer du bon état de l'appareil à rayons X et vérifier que la haute tension est bien coupée à l'ouverture des portes coulissantes (voir mode d'emploi de l'appareil à rayons X).
- Tenir l'appareil à rayons X à l'abri des personnes non autorisées.

Eviter une surchauffe de l'anode dans le tube à rayons X Mo.

- A la mise en marche de l'appareil à rayons X, vérifier si le ventilateur dans la partie tube fonctionne.

Le goniomètre s'ajuste exclusivement par le biais de moteurs pas à pas électriques.

- Ne bloquer ni le bras de cible, ni le bras de capteur du goniomètre et ne pas modifier le réglage par force.

Montage

Réalisation de la disposition de Bragg:

Le montage est représenté sur la fig. 3. La marche à suivre est la suivante (voir aussi le mode d'emploi de l'appareil à rayons X):

- Placer le collimateur dans le logement du collimateur **(a)** (faire attention à la rainure de guidage).
- Fixer le goniomètre sur les barres de guidage **(d)** de manière à avoir une distance s_1 d'environ 5 cm entre le diaphragme à fente du collimateur et le bras de cible. Enficher le câble plat **(c)** pour la commande du goniomètre.
- Enlever le capuchon protecteur du tube compteur à fenêtre, placer le tube compteur à fenêtre dans le logement du capteur **(e)** et brancher le câble du tube compteur à la douille GM-Tube.
- En déplaçant le porte-capteur **(b)**, régler une distance s_2 d'environ 5 cm entre le bras de cible et le diaphragme à fente du logement pour capteur.
- Monter le porte-cible avec le plateau pour cible.
- Desserrer la vis moletée **(g)**, poser le cristal de NaCl à plat sur le plateau pour cible **(f)**, soulever prudemment le plateau pour cible avec le cristal jusqu'à la butée et serrer la vis moletée en faisant bien attention (visser bien dans l'axe).
- Eventuellement ajuster la position zéro du goniomètre (voir mode d'emploi de l'appareil à rayons X).

N.B.:

Les cristaux de NaCl sont hygroscopiques et fragiles:

Ranger le cristal dans un endroit aussi sec que possible, éviter si possible toute sollicitation mécanique sur le cristal, ne s'emparer du cristal que par les fronts.

Si le taux de comptage est trop faible, la distance s_2 entre la cible et le capteur peut être légèrement réduite mais elle ne doit pas être trop petite sous peine d'avoir une résolution angulaire du goniomètre qui ne suffirait plus pour la séparation des raies caractéristiques K_α et K_β.

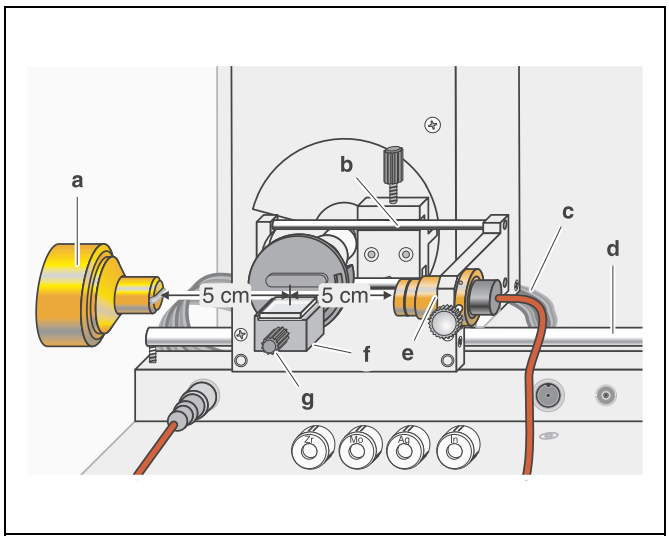


Fig. 3 Réalisation de l'expérience pour la mesure des arêtes d'absorption K

Préparation de l'acquisition des valeurs mesurées avec le PC:

- Relier la sortie RS232 et le port série du PC (en principe COM1 ou COM2) via le câble V24 à 9 pôles (livré avec l'appareil à rayons X).
- Eventuellement installer le programme «Appareil à rayons X» sous Windows 9x/NT (voir le mode d'emploi de l'appareil à rayons X) puis sélectionner la langue désirée.

Réalisation

- Lancer le programme «Appareil à rayons X», s'assurer que l'appareil à rayons X est bien branché et éventuellement effacer les données de mesure existantes avec le bouton ou la touche F4.
- Sélectionner une haute tension du tube U = 35,0 kV, un courant d'émission I = 1,00 mA et un pas de progression angulaire $\Delta\beta = 0{,}1°$.
- Activer le bouton-poussoir Coupled pour le couplage 2ϑ de la cible et du capteur puis régler la valeur limite inférieure de l'angle de la cible sur 3,7° et la valeur limite supérieure sur 7,5°.
- Choisir $\Delta t = 5$ s comme temps de mesure par pas angulaire.
- Actionner le bouton-poussoir SCAN pour lancer la mesure et le transfert de données vers le PC.
- Lorsque le balayage (Scan) est terminé, monter la feuille d'absorption en zirconium livrée avec l'appareil à rayons X sur le logement du capteur **(e)** du goniomètre et lancer une autre mesure avec le bouton-poussoir SCAN.
- Ensuite, remplacer successivement la feuille en zirconium par celles en molybdène, en argent et en indium puis lancer les mesures correspondantes.
- Une fois les mesures terminées, enregistrer la série de mesures sous un nom approprié avec le bouton ou la touche F2.
- Pour la représentation des données mesurées en fonction de la longueur d'onde λ ouvrir la fenêtre de dialogue «Réglages» avec le bouton ou la touche F5 et cliquer sur «Inscrire NaCl» après avoir sélectionné le registre «Cristal».

Exemple de mesure

(voir fig. 4)

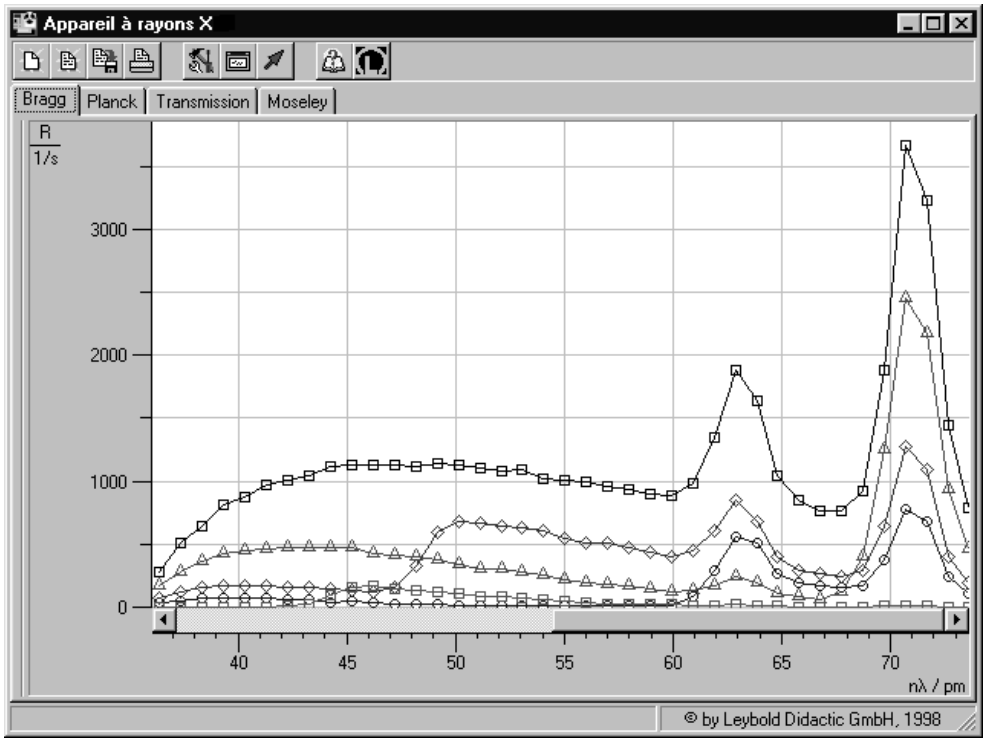


Fig. 4 Spectres de diffraction du rayonnement X avec les raies caractéristiques de l'anode en molybdène dans la gamme de longueurs d'onde allant de 36 à 74 pm (U = 35 kV)
Carrés:
sans atténuation
Triangles:
atténuation dans la feuille en Zr
Cercles:
atténuation dans la feuille en Mo
Losanges:
atténuation dans la feuille en Ag
Carrés:
atténuation dans la feuille en In

Exploitation

– Générer les spectres de transmission à partir des spectres de diffraction (voir fig. 4) dans le programme «Appareil à rayons X» en cliquant sur le registre «Transmission» (voir fig. 5).
– Appeler les possibilités d'exploitation du programme «Appareil à rayons X» en cliquant avec le bouton droit de la souris dans la fenêtre du graphe et sélectionner le point du menu «Tracer la raie K».
– Avec le bouton gauche de la souris dans les spectres de transmission, marquer à chaque fois le domaine des raies K.
– Cliquer sur le registre «Moseley» et inscrire le numéro atomique des feuilles d'absorption utilisées (Zr: 40, Mo: 42, Ag: 47 et In: 49) dans la colonne Z (voir fig. 6).
– Cliquer sur la fenêtre du graphe avec le bouton droit de la souris, sélectionner le point du menu AN1Calcul droite de régression\AN1, marquer le domaine à modéliser dans le graphe avec le bouton gauche de la souris puis relever le résultat de la modélisation pour la constante de Rydberg *R* et le coefficient de blindage σ_K au coin en bas, à gauche.

Le résultat est représenté sur la fig. 6.

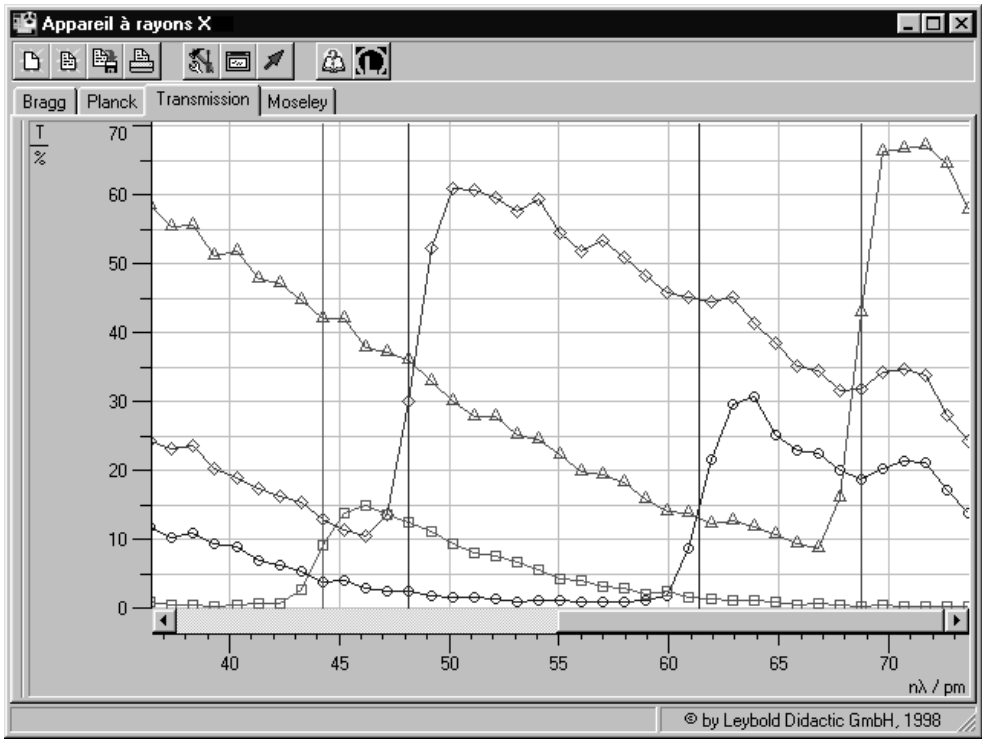


Fig. 5 Spectres de transmission dans la gamme de longueurs d'onde allant de 36 à 74 pm
Triangles: atténuation dans la feuille en Zr
Cercles: atténuation dans la feuille en Mo
Losanges: atténuation dans la feuille en Ag
Carrés: atténuation dans la feuille en In

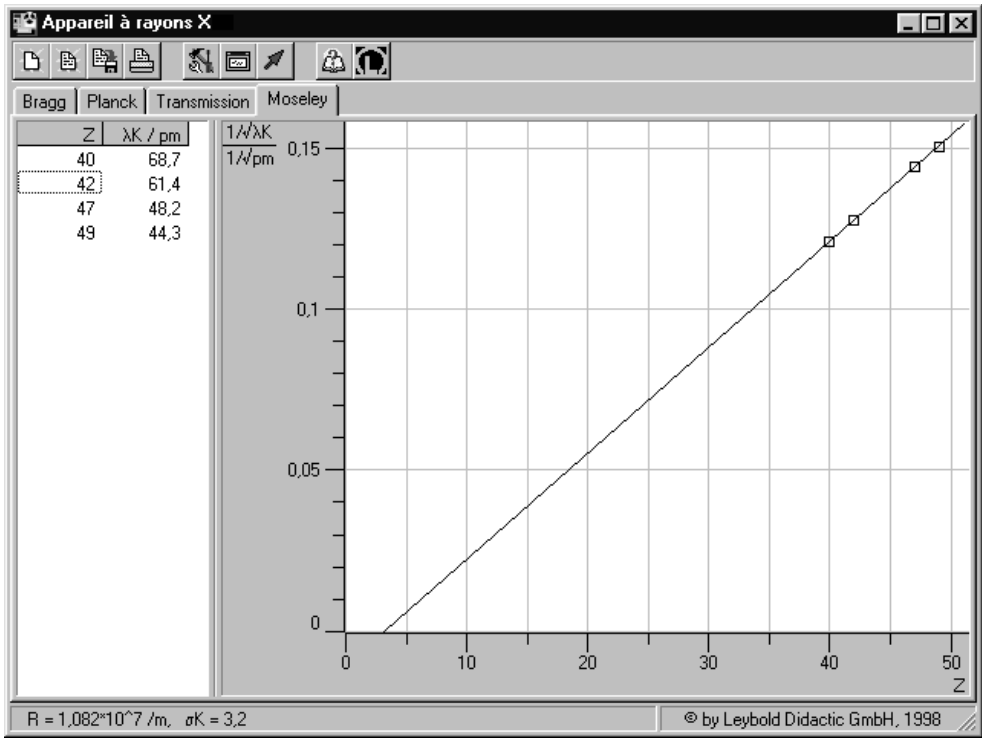


Fig. 6 Exploitation des données de mesure pour la vérification de la loi de *Moseley*

Résultat

Le résultat de la modélisation est le suivant:

$R = 1{,}082 \cdot 10^7\ m^{-1}$, $\sigma_K = 3{,}2$

Valeurs littéraires [1]:

$R = 1{,}097373 \cdot 10^7\ m^{-1}$

$\sigma_K = 3{,}6$ (pour des noyaux moyennement lourds)

Bibliographie

[1] C. M. Lederer and V. S. Shirley, Table of Isotopes, 7th Edition, 1978, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.

© by Leybold Didactic GmbH
Printed in the Federal Republic of Germany
Technical alterations reserved